

# HANSER



Inhaltsverzeichnis

Handbuch der Raumfahrttechnik

Herausgegeben von Wilfried Ley, Klaus Wittmann, Willi Hallmann

ISBN: 978-3-446-42406-7

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42406-7>

sowie im Buchhandel.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	29
	Quellen und Literatur	31
<b>1.1</b>	<b>Historischer Überblick</b>	32
1.1.1	Einführung	32
1.1.2	Die Entwicklung der unbemannten deutschen und europäischen Raumfahrt	33
1.1.3	Die Entwicklung der bemannten Raumfahrt in Europa	39
	Literatur	42
<b>1.2</b>	<b>Raumfahrtmissionen</b>	42
1.2.1	Raumfahrt-Systemsegmente	42
1.2.1.1	Das Raumsegment	43
1.2.1.2	Das Transfersegment	46
1.2.1.3	Das Bodensegment	46
1.2.2	Auslegung der Systemsegmente für Raumfahrtmissionen	48
1.2.3	Klassifizierung von Raumfahrtmissionen	51
1.2.3.1	Erdbeobachtung	51
1.2.3.2	Wetterbeobachtung	51
1.2.3.3	Technologieerprobung	51
1.2.3.4	Grundlagenforschung	52
1.2.3.5	Kommunikation	53
1.2.3.6	Navigation	53
1.2.3.7	Militärische Missionen	54
1.2.3.8	Planetare Erkundung und Exploration	54
1.2.3.9	Bemannte Raumfahrt	55
	Quellen und Literatur	55
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	57
<b>2.1</b>	<b>Umgebung Weltraum</b>	57
2.1.1	Raumfahrzeug und Weltraumumgebung	57
2.1.2	Einfluss von Sonne und Weltraumhintergrund	59
2.1.2.1	Physik der Sonne	59
2.1.2.2	Die Sonnenstrahlung	60
2.1.2.3	Sonnenwind	61
2.1.2.4	Energiereiche Teilchen	62
2.1.3	Einfluss der Erde	62
2.1.3.1	Die Erdatmosphäre	62
2.1.3.2	Magnetfeld der Erde	64
2.1.3.3	Bewegung geladener Teilchen in der Magnetosphäre	65
2.1.3.4	Der Strahlungsgürtel (Van-Allen-Belt)	65
2.1.4	Einfluss auf das Raumfahrzeug und die Missionsplanung	66
2.1.4.1	Gravitation und Magnetik	66
2.1.4.2	Elektromagnetische Strahlung	68
2.1.4.3	Atmosphärische Einflüsse	69
2.1.4.4	Energiereiche Teilchenstrahlung	70
2.1.4.5	Hochvakuum	72
2.1.4.6	Kontamination	72
2.1.4.7	Mikrometeoriten und Weltraummüll	73
	Literatur	74

<b>2.2</b>	<b>Bahnmechanik</b> .....	74
2.2.1	Bahnmodellierung .....	74
2.2.1.1	Kepler-Bahnen .....	74
2.2.1.2	Die Bahn im erdfesten System .....	77
2.2.1.3	Bahnstörungen .....	78
2.2.1.4	Analytische Bahnmodelle .....	82
2.2.1.5	Numerische Bahnvorhersage .....	85
2.2.2	Bahnbestimmung .....	87
2.2.2.1	Tracking-Systeme .....	87
2.2.2.2	Beobachtungsmodell .....	90
2.2.2.3	Linearisierung .....	91
2.2.2.4	Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate .....	91
2.2.2.5	Kalman-Filterung .....	93
2.2.3	Bahnauslegung und -haltung .....	95
2.2.3.1	Hohmann-Transfer .....	95
2.2.3.2	Fernerkundungssatelliten .....	96
2.2.3.3	Geostationäre Satelliten .....	98
	Literatur .....	101
<b>2.3</b>	<b>Aerothermodynamik und Wiedereintritt</b> .....	102
2.3.1	Einleitung .....	102
2.3.2	Globale Energiebetrachtungen .....	102
2.3.3	Strömungsmechanische und chemische Phänomene beim Wiedereintritt .....	104
2.3.4	Wärmeflussbilanz und Thermalschutzsysteme .....	106
2.3.5	Wiedereintrittsbahn .....	109
2.3.6	Aerodynamische Betrachtungen .....	111
2.3.7	Werkzeuge zur Bestimmung aerothermodynamischer Daten .....	113
	Literatur .....	116
<b>2.4</b>	<b>Mikrometeoriten und Space Debris</b> .....	117
2.4.1	Die Umgebungsbedingungen .....	117
2.4.1.1	Mikrometeoriten .....	117
2.4.1.2	Space Debris .....	117
2.4.2	Zukünftige Entwicklung und Vermeidungstechniken .....	119
2.4.3	Impaktflüsse und Impaktrisiko .....	120
2.4.3.1	Mikrometeoriten .....	121
2.4.3.2	Space Debris .....	121
2.4.3.3	Impaktrisiko .....	123
2.4.4	Schutzmaßnahmen für Raumfahrzeuge .....	123
2.4.4.1	Schutzkonzepte .....	123
2.4.4.2	Bemessung von Schutzmaßnahmen .....	124
2.4.5	Planung von Missionen .....	128
	Literatur .....	128
<b>3</b>	<b>Trägersysteme</b> .....	131
<b>3.1</b>	<b>Gesamtsysteme</b> .....	132
3.1.1	Einführung .....	132
3.1.2	Grundlagen .....	133
3.1.2.1	Nutzlasten und Missionen .....	133
3.1.2.2	Impuls und Raketengrundgleichung .....	134
3.1.2.3	Stufung .....	134
3.1.2.4	Aufstiegsbahn und Antriebsbedarf .....	135
3.1.3	Baugruppen .....	136

3.1.4	Projektphasen.....	136
3.1.5	Trägersysteme.....	137
3.1.5.1	Aktuelle Trägersysteme.....	138
3.1.5.2	Konzepte für die Zukunft.....	147
	Literatur.....	149
<b>3.2</b>	<b>Stufentechnologien.....</b>	<b>149</b>
3.2.1	Einführung/Übersicht.....	150
3.2.2	Missionsprofile und Betrieb.....	152
3.2.3	Baugruppen/Subsysteme/Technologien.....	155
3.2.4	Systemauslegung.....	162
3.2.4.1	Auslegung des Gesamtsystems.....	162
3.2.4.2	Einflüsse auf die Systemauslegung.....	163
3.2.4.3	Teilsystem-Auslegung.....	165
<b>3.3</b>	<b>Antriebssysteme.....</b>	<b>167</b>
3.3.1	Theorie des chemischen Antriebs.....	168
3.3.1.1	Grundlagen.....	168
3.3.1.2	Treibstoffe.....	168
3.3.2	Triebwerkstypen.....	169
3.3.2.1	Druckgassysteme.....	170
3.3.2.2	Pumpensysteme.....	170
3.3.2.3	Feststoffantriebe.....	172
3.3.3	Komponenten.....	174
3.3.3.1	Einspritzkopf.....	174
3.3.3.2	Brennkammer und Düse.....	178
3.3.3.3	Gasgeneratoren.....	183
3.3.3.4	Turbopumpe.....	184
3.3.4	Sonderprobleme.....	188
3.3.5	Testanlagen für Raketenantriebe.....	189
3.3.6	Zukünftige Antriebe.....	191
	Literatur.....	192
<b>3.4</b>	<b>Startinfrastruktur.....</b>	<b>192</b>
3.4.1	Anforderungen und Aufgaben.....	192
3.4.2	Konzepte.....	193
3.4.3	Ein ausgeführtes Beispiel: Ariane 5.....	194
3.4.4	Übersicht über bestehende Startanlagen.....	197
<b>3.5</b>	<b>Qualifikationsprozess.....</b>	<b>198</b>
3.5.1	Einführung/Übersicht.....	198
3.5.2	Qualifikationskategorien.....	203
3.5.3	Mechanische Qualifikationsmaßnahmen.....	203
3.5.4	Funktionelle Qualifikationsmaßnahmen.....	204
<b>3.6</b>	<b>Höhenforschungsraketen.....</b>	<b>206</b>
3.6.1	Aufbau einer Höhenforschungsrakete.....	206
3.6.1.1	Antriebe.....	207
3.6.1.2	Nutzlasten.....	208
3.6.1.3	Auslegung.....	209
3.6.2	Anwendungen.....	209
3.6.2.1	Atmosphärenphysik.....	209
3.6.2.2	Weltraumwissenschaften.....	210
3.6.2.3	Schwerelosigkeitsforschung.....	210

3.6.2.4	Hyperschalltechnologien .....	212
3.6.2.5	Studentenexperimente .....	212
3.6.3	Missionsablauf .....	213
3.6.3.1	Trägerauswahl .....	213
3.6.3.2	Startplätze .....	214
3.6.3.3	Missionsvorbereitung .....	214
3.6.3.4	Startdurchführung .....	215
3.6.4	Ausblick .....	216
	Literatur .....	216
<b>4</b>	<b>Raumfahrzeug-Subsysteme .....</b>	<b>219</b>
<b>4.1</b>	<b>Struktur und Mechanismen .....</b>	<b>220</b>
4.1.1	Die Primärstruktur des Raumfahrzeugs .....	221
4.1.1.1	Designtreiber und dimensionierende Lastfälle .....	221
4.1.1.2	Auswahl der Strukturwerkstoffe .....	222
4.1.1.3	Sandwich-, Differential- und Integralbauweise .....	223
4.1.1.4	Ausgasung, Degradation und Oberflächenschutz .....	227
4.1.1.5	Inserts .....	228
4.1.1.6	Fertigung und Integration .....	229
4.1.2	Sekundäre und entfaltbare Strukturen .....	230
4.1.2.1	Gerätehalterungen und Isolierungen .....	230
4.1.2.2	Entfaltbare Panels .....	231
4.1.2.3	Booms .....	232
4.1.3	Strukturmechanische Modellierung und Analyse .....	233
4.1.3.1	Finite-Elemente-Modelle und Modalmodelle .....	233
4.1.3.2	Resonanzverhalten und Eigenmoden .....	235
4.1.3.3	Festigkeitsnachweis und Margins of Safety (MoS) .....	235
4.1.3.4	Modellierung kritischer Schnittstellen .....	236
4.1.4	Qualifikation der Raumfahrzeugstruktur .....	237
4.1.5	Mechanismen .....	238
4.1.5.1	Pyromechanismen .....	238
4.1.5.2	Nicht-explosive Aktuatoren und Launch Locks .....	239
4.1.5.3	Federmechanismen .....	240
4.1.5.4	Elektromotoren und Stelltriebe .....	241
4.1.5.5	Drallräder und Kreisel .....	243
4.1.5.6	Tribologische Materialien .....	244
4.1.5.7	Schmierung von Lagern und Mechanismen .....	246
	Literatur .....	248
<b>4.2</b>	<b>Energieversorgung .....</b>	<b>249</b>
4.2.1	Energieerzeugung .....	250
4.2.2	Energiequellen .....	250
4.2.2.1	Fotovoltaik .....	252
4.2.2.2	Solardynamik .....	252
4.2.2.3	Nukleare Energieversorgung .....	254
4.2.2.4	Chemische Energie/Brennstoffzelle .....	255
4.2.3	Entwicklungsprozess zur Auslegung einer optimierten EVS-Architektur .....	256
4.2.4	EVS-Architekturen .....	257
4.2.5	Solargenerator .....	261
4.2.5.1	Solarzellen-Technologien .....	261
4.2.5.2	Silizium-Solarzellen .....	263
4.2.5.3	Multijunction Gallium-Arsenid auf Germanium-Solarzellen (GaAs/Ge) .....	264
4.2.5.4	Elektrische Kennwerte von Solarzellen .....	264

4.2.5.5	Temperatur- und Strahlungsverhalten	264
4.2.5.6	Solargenerator-Technologien	266
4.2.5.7	Reihenschaltung von Solarzellen	266
4.2.5.8	Parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten	267
4.2.5.9	Betriebstemperaturen	267
4.2.5.10	Elektrostatische Aufladung, Entladung und Durchschlagseffekte	267
4.2.6	Energiespeicher	268
4.2.6.1	Sekundärbatterie-Technologien	268
4.2.6.2	Vergleich der Batterietechnologien	271
4.2.6.3	Berechnungsgrundlagen zur Auslegung von Batterien	272
4.2.6.4	Batterieladeregelung	273
4.2.7	Grundsätzliche EVS-Designbetrachtungen	274
4.2.7.1	Busspannung	274
4.2.7.2	Aufbereitung der Solargeneratorenergie	274
4.2.7.3	Spannungswandler und Leistungsregler	276
4.2.7.4	Erdungskonzept	276
4.2.7.5	Maßnahmen zum Schutz des Energieversorgungsbusses	276
4.2.7.6	Energieverteilung	277
	Literatur	277
<b>4.3</b>	<b>Thermalkontrolle</b>	<b>278</b>
4.3.1	Einleitung	278
4.3.2	Thermische Grundlagen	278
4.3.2.1	Umweltbedingungen	278
4.3.2.2	Wärmeübertragung durch Strahlung	280
4.3.2.3	Wärmeleitung	283
4.3.2.4	Wärmetransport durch erzwungene Konvektion	284
4.3.2.5	Mathematisches Thermalmodell	285
4.3.3	Entwicklung des Thermalsystems	286
4.3.3.1	Übersicht	286
4.3.3.2	Analyseverfahren	287
4.3.3.3	Verifikation durch Test	291
4.3.4	Technische Lösungen	292
4.3.4.1	Überblick	292
4.3.4.2	Thermische Isolation	292
4.3.4.3	Zwei-Phasen-Kühlkreisläufe	294
4.3.4.4	Thermische Oberflächen	298
4.3.4.5	Heizelemente	299
4.3.4.6	Pumpkühlkreisläufe	300
4.3.5	Beispiele für einen Thermalentwurf	301
4.3.5.1	TerraSAR-X	301
4.3.5.2	Columbus	309
	Literatur	313
<b>4.4</b>	<b>Satellitenantriebssysteme</b>	<b>313</b>
4.4.1	Grundlagen der Satellitenantriebe	313
4.4.1.1	Antriebssystem-Aufgaben	313
4.4.1.2	Stabilisierungsverfahren	314
4.4.2	Antriebssystemtypen	314
4.4.2.1	Kaltgassysteme	314
4.4.2.2	Einstoffsysteme	314
4.4.2.3	Zweistoffsysteme	315
4.4.2.4	Elektrische Systeme	315
4.4.2.5	Feststoffsysteme	315
4.4.2.6	Vor- und Nachteile verschiedener Antriebssysteme	315

4.4.3	Treibstoffe .....	316
4.4.4	Förderverfahren und Treibstofflagerung .....	318
4.4.4.1	Blow-Down-Betrieb .....	318
4.4.4.2	Förderung bei konstantem Druck .....	319
4.4.4.3	Treibstofflagerung .....	319
4.4.5	Kaltgas-Antriebe .....	323
4.4.5.1	Kaltgastriebwerke .....	324
4.4.5.2	Entwurfsaspekte .....	324
4.4.6	Chemische Antriebe .....	325
4.4.6.1	Systeme mit Mono-Treibstoffen .....	325
4.4.6.2	Systeme mit Bi-Treibstoffen .....	329
4.4.7	Elektrische Antriebe .....	333
4.4.7.1	Triebwerkstypen und -Prinzipien .....	333
4.4.7.2	Aufbau eines elektrischen Antriebssystems .....	335
4.4.8	Komponenten für chemische Antriebssysteme .....	336
4.4.9	Bodenanlagen und Services .....	337
	Literatur .....	338
<b>4.5</b>	<b>Lageregelung .....</b>	<b>339</b>
4.5.1	Einführung und Übersicht .....	339
4.5.1.1	Bedeutung für den Satellitenbus .....	340
4.5.1.2	Bedeutung für die Nutzlast .....	340
4.5.1.3	Anwendungsgebiete .....	340
4.5.2	Anforderungen an die Lageregelung .....	340
4.5.3	Lagebeschreibung .....	341
4.5.3.1	Koordinatensysteme .....	341
4.5.3.2	Richtungskosinus-Matrix .....	342
4.5.3.3	Euler-Winkel .....	342
4.5.3.4	Quaternionen .....	343
4.5.4	Lagedynamik .....	343
4.5.4.1	Lagekinematik und -dynamik .....	343
4.5.4.2	Störmomente .....	344
4.5.5	Lagebestimmung und -regelung .....	345
4.5.5.1	Lagebestimmung .....	345
4.5.5.2	Lageregelung .....	346
4.5.6	Lagesensorik .....	347
4.5.6.1	Generelle Aspekte für Lagesensoren .....	347
4.5.6.2	Sternsensoren .....	348
4.5.6.3	Sonnensensoren .....	349
4.5.6.4	Erdsensoren .....	350
4.5.6.5	Magnetometer .....	352
4.5.6.6	Gyroskope, Kreisel .....	352
4.5.6.7	GNSS als Lagesensor .....	355
4.5.7	Lageaktuatorik .....	356
4.5.7.1	Generelle Aspekte für Aktuatoren .....	356
4.5.7.2	Reaktionsräder, Drallräder, Control Momentum Gyros .....	357
4.5.7.3	Triebwerke für die Lageregelung .....	359
4.5.7.4	Magnet-Torquer .....	360
4.5.8	Verifikation der Lageregelung .....	361
4.5.8.1	Analytische Verifikation .....	361
4.5.8.2	Software-Simulation .....	362
4.5.8.3	Hardware-in-the-Loop-Test .....	362
4.5.8.4	Teststand, Gaslager .....	363
	Literatur .....	364

<b>4.6</b>	<b>Datenmanagement</b>	364
4.6.1	Bordrechner-Architektur	365
4.6.2	Strahlungsfestigkeit, Temperaturprobleme	367
4.6.3	Busse	367
4.6.3.1	Serielle asynchrone Schnittstelle RS232, RS422 und RS485	368
4.6.3.2	CAN-Bus (Controller Area Network)	368
4.6.3.3	I2C-Bus	369
4.6.3.4	SPI-Bus	370
4.6.3.5	SpaceWire	370
4.6.3.6	MIL-STD-1553	371
4.6.4	Betriebssysteme	371
4.6.5	Rechner mit rekonfigurierbarer Logik	372
4.6.5.1	Logikbausteine	372
4.6.5.2	Hardware-Beschreibungssprachen	373
4.6.6	Software-Entwicklung	374
	Literatur	375
<b>4.7</b>	<b>Kommunikation</b>	375
4.7.1	Einleitung	375
4.7.2	Frequenzbänder	376
4.7.2.1	Atmosphärische Dämpfung	376
4.7.2.2	Maximale Leistungsflussdichte auf dem Erdboden	376
4.7.3	Kanalkapazität	377
4.7.4	Antennen	378
4.7.4.1	Parabolantenne mit hoher Richtwirkung	378
4.7.4.2	Antennengewinn der Parabolantenne	378
4.7.4.3	Keulbreite der Parabolantenne	379
4.7.4.4	Polarisation	379
4.7.5	Thermisches Rauschen	379
4.7.5.1	Antennentemperatur	380
4.7.5.2	Systemrauschtemperatur	380
4.7.6	Modulationsarten	381
4.7.6.1	Frequenzmodulation (FM)	381
4.7.6.2	Signal-Rausch-Leistung bei Frequenzmodulation	381
4.7.6.3	Präemphase und Deemphase	382
4.7.6.4	Phasenmodulation (PM)	383
4.7.6.5	Frequency Shift Keying (FSK)	383
4.7.6.6	Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)	383
4.7.6.7	Bitfehlerwahrscheinlichkeiten für verschiedene Modulationsarten	383
4.7.7	Pulscodemodulation (PCM)	384
4.7.8	Paket-Telemetrie	386
4.7.9	Code Division Multiple Access (CDMA)	386
4.7.10	Koppelnetzwerke	387
4.7.11	Sende- und Empfangsanlage des BIRD-Satelliten	388
4.7.11.1	Auslegung	388
4.7.11.2	Streckenbilanz	388
4.7.11.3	Ausblick	390
	Literatur	391
<b>5</b>	<b>Aspekte bemannter Missionen</b>	393
<b>5.1</b>	<b>Der Mensch im Weltraum</b>	394
5.1.1	Die Besetzungen der Internationalen Raumstation	394
5.1.1.1	Zusammensetzung und Auswahl der Mannschaft	394



5.1.1.2	ISS-Crew-Aufgaben	394
5.1.1.3	ISS-Crew-Alltag	396
5.1.1.4	Die ISS-Crew als Arbeitsteam	397
5.1.2	Das Astronautentraining	398
5.1.2.1	Das mehrstufige Astronautentrainingsprogramm	398
5.1.2.2	Trainingsorganisation und Methoden	400
5.1.2.3	Crew-Qualifikationen	401
5.1.3	Trainingsinfrastruktur im Europäischen Astronauten-Zentrum (EAC)	402
5.1.3.1	Allgemeine Trainingsinfrastruktur	402
5.1.3.2	Infrastruktur für das Columbus-System-Training	404
5.1.3.3	Nutzlast-Training und Simulationsinfrastruktur	405
5.1.3.4	Infrastruktur für das Training zur Raumfahrzeugsteuerung und für Extravehicular Activities	407
	Literatur	408
<b>5.2</b>	<b>Lebenserhaltungssysteme</b>	<b>408</b>
5.2.1	Aufgaben eines Lebenserhaltungssystems	408
5.2.1.1	Einleitung	408
5.2.1.2	Die Atmosphäre	409
5.2.1.3	Druckkontrolle, Abgabe und Ventile	409
5.2.1.4	Überwachung der Luftzusammensetzung	410
5.2.1.5	Lüftung und Luftkonditionierung	411
5.2.1.6	Luftaufbereitung und Schadgasbindung	413
5.2.1.7	Wasser- und Urinaufbereitung	417
5.2.1.8	Branderkennung und -bekämpfung	419
5.2.1.9	Außenbordaktivitäten	419
5.2.1.10	Thermalkontrolle	421
5.2.1.11	Crew Habitation Systems	422
5.2.1.12	Nahrung	422
5.2.2	Bilanzen	423
5.2.2.1	Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidproduktion eines Astronauten	423
5.2.2.2	Das offene Lebenserhaltungssystem	423
5.2.2.3	Das geschlossene Lebenserhaltungssystem	423
5.2.3	Das Lebenserhaltungssystem der ISS	424
5.2.3.1	ECLS-Designphilosophie	424
5.2.3.2	ECLS-Gesamtsystem	425
5.2.3.3	Versorgung der ISS und Entsorgung	425
5.2.4	Biologische Lebenserhaltungssysteme	427
5.2.4.1	Einleitung	427
5.2.4.2	Terrestrische Entwicklungen, Erfahrungen auf Systemebene	427
5.2.4.3	Fluganlagen	427
5.2.4.4	Offene Punkte	427
	Literatur	430
<b>5.3</b>	<b>Rendezvous und Docking</b>	<b>430</b>
5.3.1	Einleitung	430
5.3.2	Die RVD-Mission	430
5.3.2.1	Space Shuttle (USA)	431
5.3.2.2	Sojus und Progress (Russland)	432
5.3.2.3	ATV (Europa)	432
5.3.3	Grundlagen der Bahndynamik	432
5.3.4	Die Sicherheitsanforderungen	435
5.3.5	Das ATV-RVD-System	437
5.3.5.1	Das Antriebssystem	438
5.3.5.2	Flugführung und Flugregelung	439

5.3.6	Verifikation und Test .....	441
5.3.7	Ausblick .....	442
	Literatur .....	443
<b>6</b>	<b>Missionsbetrieb</b> .....	<b>445</b>
<b>6.1</b>	<b>Satellitenbetrieb</b> .....	<b>445</b>
6.1.1	Prinzipien und Vorgehensweise .....	445
6.1.2	Missionstypen .....	447
6.1.2.1	Satelliten im niedrigen Erdbit .....	447
6.1.2.2	Satelliten im hochelliptischen Orbit .....	447
6.1.2.3	Geostationäre Satelliten .....	447
6.1.2.4	Sonden in den Lagrange-Punkten L1/L2 .....	447
6.1.2.5	Interplanetare Sonden .....	447
6.1.3	Vorbereitungsaktivitäten .....	447
6.1.3.1	Missionsanalysen und Systemstudien .....	449
6.1.3.2	Implementierung .....	449
6.1.3.3	Test und Validierung .....	449
6.1.3.4	Training und Simulationen .....	450
6.1.4	Missionsphasen .....	452
6.1.4.1	LEOP-Betrieb .....	452
6.1.4.2	Commissioning und In-Orbit Test Phase .....	452
6.1.4.3	Routinebetrieb .....	454
6.1.4.4	Wiederherstellung des Betriebs (Recovery) .....	454
6.1.4.5	Außerbetriebnahme und Deorbiting .....	455
6.1.5	Aufgaben des Missionsbetriebs .....	455
6.1.5.1	Analyse des Satellitenverhaltens .....	455
6.1.5.2	Bearbeitung von Anomalien .....	455
6.1.5.3	Satellitenbetrieb .....	455
6.1.5.4	Datenerfassung und -verteilung .....	456
6.1.5.5	Missionsplanung .....	457
6.1.5.6	Navigation und Flugdynamik .....	457
<b>6.2</b>	<b>Kontrollzentrum</b> .....	<b>458</b>
6.2.1	Kontrollräume .....	458
6.2.2	Hardwarekomponenten .....	459
6.2.2.1	Rechner- und Netzwerkarchitektur .....	459
6.2.2.2	Sprachkommunikationssystem .....	460
6.2.2.3	Videosystem .....	460
6.2.2.4	Stromversorgung .....	461
6.2.2.5	Zugangskontrolle und IT-Sicherheit .....	461
6.2.3	Softwarekomponenten .....	461
6.2.3.1	Telemetrie- und Kommandosystem .....	462
6.2.3.2	Display-System .....	464
6.2.3.3	Missionsplanungssystem .....	465
6.2.3.4	Unterstützungssoftware .....	466
6.2.4	Kommunikationsverbindungen .....	466
6.2.4.1	Echtzeitdatenübertragung .....	466
6.2.4.2	Offline-Datenübertragung .....	467
6.2.4.3	Audio- und Videoverbindungen .....	467
<b>6.3</b>	<b>Bodenstationsnetzwerk</b> .....	<b>468</b>
6.3.1	Aufgaben einer Bodenstation .....	468
6.3.1.1	Übertragung vom Boden zum Raumfahrzeug (Uplink) .....	468

6.3.1.2	Übertragung vom Raumfahrzeug zum Boden (Downlink).....	468
6.3.1.3	Telemetrie .....	469
6.3.1.4	Telekommando .....	469
6.3.1.5	Bahnbestimmung (Tracking) .....	469
6.3.2	Standortauswahl für eine Bodenstation .....	470
6.3.3	Bodenstationskomponenten für erdumlaufende Satelliten .....	471
6.3.3.1	Empfangspfad (Downlink).....	472
6.3.3.2	Sendepfad (Uplink).....	472
6.3.3.3	Nachführung einer Antenne.....	472
6.3.3.4	Rauscharmer Vorverstärker (LNA).....	473
6.3.3.5	Endverstärker (HPA).....	473
6.3.3.6	Frequenzumsetzer.....	474
6.3.3.7	Basisband-Geräte .....	474
6.3.3.8	Zeit- und Referenzfrequenz-Anlagen .....	476
6.3.3.9	Datennetzwerk .....	476
6.3.4	Link-Designaspekte.....	477
6.3.4.1	Frequenzbereiche .....	478
6.3.4.2	Antennengröße.....	480
6.3.4.3	Abgestrahlte Leistung EIRP .....	480
6.3.4.4	Empfangsgüte G-T .....	481
6.3.4.5	Antennenausrichtung.....	481
6.3.4.6	Funkfelddispersion und Regendämpfung.....	482
6.3.4.7	Störleistung .....	484
6.3.4.8	Die Streckenbilanz.....	486
6.3.5	Bodenstationsbetrieb .....	486
6.3.5.1	Steuerungs- und Kontrollsystem.....	486
6.3.5.2	Operationelle Durchführung einer Passage.....	487
<b>6.4</b>	<b>Betrieb für bemannte Missionen.....</b>	<b>488</b>
6.4.1	Vorbereitung.....	488
6.4.1.1	Entwicklung der Werkzeuge.....	490
6.4.1.2	Training, Simulationen und Zertifizierung .....	491
6.4.1.3	Abstimmung der Schnittstellen zu den internationalen Partnern .....	492
6.4.1.4	Planung der Aktivitäten.....	492
6.4.2	Systembetrieb eines ISS-Moduls.....	493
6.4.2.1	Systembetrieb des Columbus-Moduls .....	494
6.4.2.2	Lebenserhaltungssystem.....	494
6.4.2.3	Stromversorgung und Temperaturregelung.....	494
6.4.2.4	Daten- und Kommunikationssystem .....	494
6.4.3	Koordination des Nutzlastbetriebs auf der ISS .....	495
6.4.3.1	Nutzlastkoordinierung am Col-CC .....	495
6.4.3.2	Koordination mit den europäischen Nutzerzentren .....	495
6.4.3.3	Koordination mit der ESA .....	496
6.4.4	Die ISS-Kommunikationsinfrastruktur.....	496
6.4.4.1	Betrieb der europäischen Kommunikationsinfrastruktur.....	496
6.4.4.2	Verbindung zu den Nutzerzentren, zum EAC und zu den ESCs .....	498
	Literatur .....	498
<b>7</b>	<b>Raumfahrtnutzung .....</b>	<b>501</b>
<b>7.1</b>	<b>Erdbeobachtung.....</b>	<b>505</b>
7.1.1	Kategorien der Anwendung der Erdbeobachtung .....	505
7.1.2	Anwendung der Erdbeobachtung am Beispiel „Bestimmung der oberirdischen Biomasse“ .....	510
7.1.3	Elemente von Erdbeobachtungsmissionen.....	512

7.1.3.1	Beobachtungsprofile .....	512
7.1.3.2	Typische Bahnen von Erdbeobachtungssatelliten .....	512
7.1.3.3	Aufnahmesysteme .....	513
7.1.3.4	On Board Data Handling .....	515
7.1.3.5	Nutzlast-Bodensegmente .....	515
7.1.4	Nutzungsprogramme und wichtige Erdbeobachtungsmissionen .....	519
	Literatur .....	520
<b>7.2</b>	<b>Kommunikation</b> .....	<b>521</b>
7.2.1	Der Anfang – Sputnik .....	521
7.2.1.1	Der Einstieg – COMSAT .....	521
7.2.1.2	Der Mobilfunk – MARISAT .....	521
7.2.1.3	Das nationale MOLNIJA-Programm .....	522
7.2.1.4	Nationale Satellitennetze .....	522
7.2.2	Die Satellitenkommunikationsdienste .....	522
7.2.2.1	MOLNIJA-Satelliten und Bahnen .....	523
7.2.2.2	Lokale Dienste und die Last Mile .....	523
7.2.3	Die Tiefflieger .....	523
7.2.4	Satelliten in mittlerer Flughöhe .....	525
7.2.5	Satelliten in höheren Bahnen .....	526
7.2.6	Satelliten in hochinklinierten Bahnen .....	526
7.2.7	Satelliten in inklinierten, geosynchronen Bahnen .....	527
7.2.8	Satelliten in polaren Bahnen .....	528
7.2.9	Stratosphärenplattformen .....	528
7.2.10	Die Fernmeldedienste Little – Big – Mega .....	529
7.2.10.1	Little Services .....	529
7.2.10.2	Big Services .....	529
7.2.10.3	Super Services .....	529
7.2.10.4	Mega Services .....	529
7.2.11	Der Transponder .....	530
7.2.11.1	Variable Transponder-Sendeleistungen .....	530
7.2.11.2	Multi-Mode Tubes .....	530
7.2.11.3	Variable Transponder-Bandbreite .....	531
7.2.11.4	Intelligente Antennen .....	531
7.2.11.5	Störerausblendende Satellitenantennen .....	531
7.2.11.6	Multiple Zellen bildende Antennen .....	531
7.2.11.7	Bordseitige Verarbeitung und Vermittlung .....	532
7.2.11.8	Nutzlasten mit multiplen Frequenzbändern .....	532
7.2.12	Die Übertragungstechnik .....	532
7.2.13	Die Zugriffstechnik .....	533
7.2.14	Frequenzbereiche über dem elektromagnetischen Spektrum .....	533
7.2.15	Die Entsorgung von Satelliten .....	534
7.2.16	Ausblick .....	534
	Literatur .....	534
<b>7.3</b>	<b>Navigation</b> .....	<b>535</b>
7.3.1	Grundprinzip der Satellitennavigation .....	535
7.3.1.1	Geschichte der Navigation .....	535
7.3.1.2	Ursprung der Satellitennavigation – Transit .....	535
7.3.1.3	Funktionsweise der Satellitennavigation .....	536
7.3.2	Satellitenavigationssysteme .....	536
7.3.2.1	Systemdesign .....	536
7.3.2.2	GPS, GLONASS, Galileo und COMPASS .....	537
7.3.3	Raumsegment .....	539

7.3.3.1	Komponenten eines Navigationssatelliten	539
7.3.3.2	Satellitenbahnen	539
7.3.4	Bodensegment	542
7.3.4.1	Galileo Ground Control Segment (GCS)	542
7.3.4.2	Galileo Ground Mission Segment (GMS)	545
7.3.5	Navigationssignale und Dienste	547
7.3.5.1	Bezugssysteme für Zeit und Raumkoordinaten	547
7.3.5.2	Navigationssignale	549
7.3.5.3	Galileo-Dienstekonzept	550
7.3.6	Empfänger	551
7.3.7	Genauigkeit und Fehlereinflüsse	552
7.3.7.1	Fehlerquellen des Satelliten	552
7.3.7.2	Signalausbreitungsfehler	552
7.3.7.3	Empfängerfehler	552
	Literatur	553
<b>7.4</b>	<b>Weltraumastronomie und Planetenmissionen</b>	<b>553</b>
7.4.1	Astronomiemissionen	553
7.4.1.1	Röntgensatelliten	553
7.4.1.2	Gamma-Astronomie	554
7.4.1.3	Infrarot-Satelliten	555
7.4.1.4	Hubble Space Telescope (HST)	555
7.4.1.5	Die Suche nach Exoplaneten	557
7.4.2	Mondmissionen	557
7.4.3	Planetenmissionen	560
7.4.4	Bahndynamik interplanetarer Raumsonden	566
7.4.4.1	Interplanetarer Transfer	566
7.4.4.2	Orbit- und Rendezvousmissionen	566
7.4.4.3	Swing-by-Manöver	566
7.4.5	Schlüsseltechnologien für Planetenmissionen	567
7.4.5.1	Thermalsystem für extreme Umgebungsbedingungen	567
7.4.5.2	Radiothermal Generators RTGs	567
7.4.5.3	Landesysteme	567
7.4.5.4	Kommunikationssysteme für große Distanzen	568
7.4.5.5	Navigation	569
	Literatur	569
<b>7.5</b>	<b>Materialwissenschaften</b>	<b>570</b>
7.5.1	Mikrogravitation	570
7.5.1.1	Entstehung	570
7.5.1.2	Auswirkung	572
7.5.2	Kritische Phänomene	573
7.5.3	Fluidphysik	574
7.5.3.1	Statik	574
7.5.3.2	Dynamik	574
7.5.3.3	Weiche Materie	575
7.5.4	Erstarrung	576
7.5.4.1	Kristallzucht	576
7.5.4.2	Gerichtete Erstarrung	576
7.5.4.3	Metalle	576
7.5.4.4	Unterkühlung	577
7.5.5	Thermophysik	578
7.5.5.1	Messungen in Kartuschen	578
7.5.5.2	Behälterfreie Experimente	579

7.5.6	Nutzlasten .....	580
	Literatur .....	583
<b>7.6</b>	<b>Weltraummedizin und -biologie .....</b>	<b>583</b>
7.6.1	Medizin im Weltraum .....	583
7.6.2	Missionsszenarien .....	585
7.6.3	Erfahrungshorizont .....	585
7.6.4	Umweltparameter .....	586
7.6.5	Medizinisch-physiologische Probleme beim Aufenthalt im All .....	587
7.6.5.1	Veränderungen der Körperzusammensetzung .....	587
7.6.5.2	Kardio-vaskuläres System .....	588
7.6.5.3	Muskel- und Skelettsystem .....	588
7.6.5.4	Sinnessysteme .....	589
7.6.5.5	Ernährung .....	589
7.6.5.6	Strahlung .....	590
7.6.6	Psycho-physiologische Probleme beim Aufenthalt im All .....	591
7.6.6.1	Biorhythmen .....	591
7.6.6.2	Isolation und Beengtsein .....	591
7.6.7	Gegenmaßnahmen .....	593
7.6.7.1	Kardio-vaskuläres System .....	594
7.6.7.2	Muskel- und Skelettsystem .....	595
7.6.7.3	Neuro-sensorisches System .....	595
7.6.7.4	Strahlenschutz .....	595
7.6.7.5	Individuelle Datenbasis für Astronauten .....	595
7.6.8	Ausblick .....	596
	Literatur .....	596
<b>7.7</b>	<b>Neue Technologien und Robotik .....</b>	<b>597</b>
7.7.1	Raumfahrt-Robotik .....	597
7.7.1.1	Manipulatoren im Erdorbit .....	599
7.7.1.2	Erste Technologie-Experimente auf dem Weg zum teilautonomen Service-Roboter im Weltraum ..	600
7.7.1.3	Neuere Technologieentwicklungen und -experimente .....	603
7.7.1.4	Landermissionen zur Exploration des Weltraums .....	607
7.7.2	On-Orbit Servicing .....	611
7.7.2.1	Eigenschaften und Optionen .....	611
7.7.2.2	Serviceaufgaben im Orbit .....	612
7.7.2.3	Bausteine .....	614
7.7.2.4	Technologieanforderungen .....	614
7.7.2.5	Einflussfaktoren .....	615
7.7.2.6	Bisherige und geplante Missionsbeispiele .....	615
	Literatur .....	618
<b>8</b>	<b>Konfiguration/Entwurf eines Raumflugkörpers .....</b>	<b>621</b>
<b>8.1</b>	<b>Missionskonzept und Missionsarchitektur .....</b>	<b>622</b>
8.1.1	Die Elemente einer Raumflugmission .....	622
8.1.1.1	Das Missionsziel .....	622
8.1.1.2	Das Missionskonzept .....	622
8.1.1.3	Das Startelement .....	623
8.1.1.4	Orbit und Konstellation .....	623
8.1.1.5	Das Raumelement .....	624
8.1.1.6	Die Kommunikationsarchitektur .....	624
8.1.1.7	Satelliten-Bodenstationen .....	625
8.1.1.8	Missionskontrollzentrum und Missionsbetrieb .....	625

8.1.1.9	Datenprozessierung, Archivierung und Verteilung	626
8.1.1.10	Nutzer	626
8.1.2	Die Segmente einer Raumflugmission	627
8.1.3	Die Missionsarchitektur	627
8.1.4	Entwicklung eines Missionskonzepts und einer Missionsarchitektur	628
8.1.4.1	Die Missionsidee	628
8.1.4.2	Formulierung der Missionsziele	628
8.1.4.3	Definition des Nutzerbedarfs	629
8.1.4.4	Definition der Missionsanforderungen und Randbedingungen	629
8.1.4.5	Grobkonzepte der Mission und alternative Missionsarchitekturen	631
8.1.4.6	Identifizierung der Systemtreiber	631
8.1.4.7	Beschreibung der ausgewählten Missionsarchitektur	631
8.1.4.8	Identifikation der kritischen Anforderungen	631
8.1.4.9	Missionsanalyse und Bewertung, Missionsnutzen	631
8.1.4.10	Beschreibung des Missionskonzepts	631
	Literatur	631
<b>8.2</b>	<b>Systementwurf und Systemintegration</b>	<b>632</b>
8.2.1	Der Systementwurf eines Raumfahrtssystems	632
8.2.1.1	Der Systembegriff	632
8.2.1.2	Der Entwurfsprozess	632
8.2.1.3	Die Entwurfsphilosophie	634
8.2.2	Die Systemintegration	636
8.2.2.1	Der Prozess der Systemintegration	636
8.2.2.2	Integrations- und Testeinrichtungen	637
8.2.2.3	Bodenhilfseinrichtungen	637
8.2.3	Die Systemverifikation	638
8.2.3.1	Die Ziele der Verifikation	638
8.2.3.2	Phasen der Verifikation	638
8.2.3.3	Methoden der Verifikation	638
8.2.3.4	Ebenen der Verifikation	639
8.2.3.5	Modelle zur Verifikation	639
8.2.3.6	Modellphilosophien	640
8.2.3.7	Die Hardwarematrix	640
8.2.3.8	Die Verifikationsmatrix	641
	Literatur	641
<b>8.3</b>	<b>Umweltsimulation und Testkonzepte</b>	<b>641</b>
8.3.1	Wesen und Bedeutung der Umweltsimulation	641
8.3.2	Verifikationsplanung und Kosteneinfluss	643
8.3.3	Mechanische Tests	644
8.3.3.1	Vibrationstests	644
8.3.3.2	Akustik	647
8.3.3.3	Schock	648
8.3.3.4	Modaltest	650
8.3.3.5	Masseeigenschaften	652
8.3.4	Weltraumsimulationstests	653
8.3.4.1	Thermal Balance Tests	654
8.3.4.2	Bakeout-Test	654
8.3.4.3	Thermal-Vakuumtest	654
8.3.4.4	Thermal-Zyklentest	655
8.3.4.5	OSTC-Test	655
8.3.4.6	Thermoelastischer Verformungstest	655
8.3.4.7	Testanlagen	657

8.3.5	EMV und Magnetik .....	659
8.3.5.1	Elektromagnetische Verträglichkeit .....	659
8.3.5.2	Magnetik (Magnetische Reinheit) .....	661
8.3.6	Spezielle Umwelttests und Funktionstests .....	662
8.3.6.1	Spezielle Umwelttests .....	662
8.3.6.2	Funktionstests .....	663
8.3.7	Künftige Entwicklung .....	665
	Literatur .....	666
<b>8.4</b>	<b>Systemdesign am Beispiel CUBESAT .....</b>	<b>666</b>
8.4.1	Einleitung .....	666
8.4.2	Missionskonzepte und -szenarien .....	667
8.4.2.1	Missionsziel .....	667
8.4.2.2	Nutzlast .....	668
8.4.2.3	Satellitenbus .....	668
8.4.2.4	Orbit .....	668
8.4.2.5	Startrakete .....	668
8.4.2.6	Bodensegment .....	668
8.4.3	Anforderungen .....	668
8.4.4	Systementwurf und Subsysteme .....	669
8.4.4.1	Lageregelungssystem .....	670
8.4.4.2	Antriebssystem .....	670
8.4.4.3	Kommunikationssystem .....	671
8.4.4.4	Energieversorgungssystem .....	671
8.4.4.5	Kommando- und Datenverarbeitungssystem .....	671
8.4.4.6	Thermalsystem .....	672
8.4.4.7	Struktur und Mechanismen .....	672
8.4.5	Modellphilosophie .....	672
8.4.5.1	Prototypen .....	672
8.4.5.2	Ingenieurmodell .....	673
8.4.5.3	Flugmodell .....	673
8.4.6	AIT (Assembly, Integration and Testing) .....	674
8.4.6.1	Integration .....	674
8.4.6.2	Vibrationstests .....	674
8.4.6.3	Thermal-Vakuumtests .....	675
8.4.7	Betriebsaspekte und Bodensegment .....	675
	Literatur .....	676
<b>8.5</b>	<b>Systemdesign am Beispiel Mikrosatellit .....</b>	<b>676</b>
8.5.1	Entwurfsphilosophie für Mikrosatelliten .....	676
8.5.2	Design der Missionselemente der Mikrosatellitenmission BIRD .....	677
8.5.2.1	Motivation und Missionsziel .....	677
8.5.2.2	Das Missionskonzept .....	677
8.5.2.3	Das Startelement .....	677
8.5.2.4	Orbit und Konstellation .....	677
8.5.2.5	Das Raumsegment .....	678
8.5.2.6	Kommunikationsarchitektur .....	681
8.5.2.7	Satelliten-Bodenstationen .....	681
8.5.2.8	Missionskontrollzentrum und Missionsbetrieb .....	681
8.5.2.9	Datenprozessierung, Archivierung und Verteilung .....	682
8.5.2.10	Nutzer .....	682
8.5.3	Systemintegration und Systemverifikation .....	683
	Literatur .....	686



<b>8.6</b>	<b>Galileo-Satelliten</b>	686
8.6.1	Systemanforderungen	686
8.6.2	Designkriterien und -prozess	687
8.6.3	Bus und Subsysteme	690
8.6.3.1	Struktur und Thermalhaushalt	690
8.6.3.2	Stromversorgung	691
8.6.3.3	Bordcomputer und Datenbus	691
8.6.3.4	Telemetrie und Telekommando	691
8.6.3.5	Bahn- und Lageregelung	692
8.6.3.6	Laser-Reflektor	692
8.6.3.7	Antrieb	692
8.6.3.8	Kabelbaum	693
8.6.4	Nutzlast	693
8.6.4.1	Nutzlastarchitektur	693
8.6.4.2	Nutzlastgeräte	693
8.6.4.3	Notfunk-Transponder	696
8.6.5	Launcher Interfaces	696
8.6.6	Satellitenfertigung und Tests	696
8.6.6.1	Einleitung	696
8.6.6.2	Modellphilosophie	697
8.6.6.3	Integration und Plattformtests	699
8.6.6.4	Nutzlasttests	699
8.6.6.5	Integrierte Satellitentests	701
8.6.6.6	Launcher-Integration und In-Orbit-Validierung	702
<b>8.7</b>	<b>Die Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X</b>	702
8.7.1	Projektorganisation	702
8.7.2	Missionskonzept	702
8.7.3	Das Terra-SAR-X- und TanDEM-X-Raumsegment	704
8.7.3.1	Satellitenkonzept	704
8.7.3.2	Satellitenbus	705
8.7.3.3	SAR-Instrument	706
8.7.3.4	Tracking, Occultation und Ranging Equipment	707
8.7.3.5	Laser Communication Terminal	707
8.7.3.6	Unterschiede zwischen TerraSAR-X und TanDEM-X	707
8.7.4	Das operationelle Konzept	709
8.7.4.1	Auswahl und Festlegung der Orbitparameter	709
8.7.4.2	Bodensegment und Missionsbetrieb	710
8.7.5	Inbetriebnahme	712
	Literatur	713
<b>9</b>	<b>Management von Raumfahrtprojekten</b>	715
	Literatur	716
<b>9.1</b>	<b>Projektmanagement in der Raumfahrt</b>	716
9.1.1	Projektmanagement	716
9.1.1.1	Rückblick	716
9.1.1.2	Einführung	717
9.1.2	Charakterisierung eines Raumfahrtprojekts	720
9.1.2.1	Prozesse in der Raumfahrttechnik	721
9.1.2.2	Realisierungsphasen der ESA	723
9.1.2.3	Kommerzieller Beschaffungsansatz	726
9.1.3	Projektmanagement-Disziplinen	727
9.1.3.1	Planung	727

9.1.3.2	Projektführung	731
9.1.3.3	Projekt-Controlling	732
9.1.3.4	Kommunikation und Reporting	732
9.1.4	Projektmanagement-Hilfsmittel	732
9.1.4.1	Organisationsformen	732
9.1.4.2	Modellphilosophie	734
9.1.4.3	Risikomanagement	734
9.1.4.4	Kosten- und Zeitplanung	734
9.1.4.5	Qualitätsmanagement-Aspekte	736
9.1.4.6	Konfigurationsmanagement	736
9.1.4.7	Logistik	736
9.1.4.8	IT-Sicherheit und Geheimhaltung	737
9.1.4.9	Personen- und Gütersicherheit	737
9.1.5	Projektmanagement-Dokumentation	738
9.1.5.1	Managementplan	738
9.1.5.2	Projekthandbuch	739
9.1.6	Auftraggeber-Auftragnehmer-Beziehung	739
9.1.6.1	Beschaffungsvorgang	739
9.1.6.2	Reviewprozess	740
9.1.6.3	Abnahmen	741
9.1.6.4	Endabnahme	741
9.1.7	Orientierung	742
	Literatur	742
<b>9.2</b>	<b>Qualitätsmanagement</b>	<b>742</b>
9.2.1	Begriffe	742
9.2.2	Anforderungen und Vorgaben	744
9.2.2.1	Anforderungen	744
9.2.2.2	Qualitätspolitik und Qualitätsziele	744
9.2.2.3	Qualitätskennzahlen	744
9.2.2.4	Kundenzufriedenheit	745
9.2.2.5	Handbuch	745
9.2.2.6	Verfahrensanweisungen, Arbeitsanweisungen	745
9.2.3	Die Hauptprozesse	745
9.2.3.1	Angebot	746
9.2.3.2	Vorentwicklung/Entwicklung	746
9.2.3.3	Beschaffung	747
9.2.3.4	Fertigung	747
9.2.3.5	Lagerung, Transport, Wartung (Betrieb)	748
9.2.4	Die Organisation des Qualitätsmanagements	748
9.2.5	Produktsicherung (PS)	749
9.2.5.1	Entwurfssicherung	749
9.2.5.2	Zuverlässigkeit (Reliability)	750
9.2.5.3	Verfügbarkeit (Availability)	750
9.2.5.4	Wartbarkeit (Maintainability)	751
9.2.5.5	Sicherheit (Safety)	751
9.2.5.6	Teile, Materialien und Verfahren	751
9.2.5.7	Elektrische, elektronische und elektromechanische (EEE) Bauteile	752
9.2.5.8	Hardware-Qualitätssicherung	753
9.2.5.9	Software-Qualitätssicherung	753
9.2.6	Produktsicherung im Projekt	753
9.2.6.1	Projektphasen	753
9.2.6.2	Projektnahtstellen	755
9.2.6.3	Produktbaum (Product Tree)	755

9.2.6.4	Anforderungen und Vorgaben .....	755
9.2.6.5	Lasten- und Pflichtenheft .....	755
9.2.6.6	Auswahl Qualitätsstandards.....	757
9.2.6.7	Modellphilosophie.....	757
9.2.6.8	Projektmeilensteine .....	757
9.2.7	Planung der Produktsicherung im Projekt.....	759
9.2.7.1	Planungsvoraussetzungen .....	759
9.2.7.2	Der Produktsicherungsablauf .....	759
9.2.7.3	Produktsicherungsplan .....	761
9.2.8	Risikomanagement .....	761
9.2.9	Konfigurationsmanagement.....	761
9.2.10	Änderungs- und Fehlermanagement .....	762
9.2.11	Die Verifikation der Anforderungen .....	762
9.2.12	Lessons Learned.....	763
9.2.13	Zusammenfassung .....	763
	Literatur .....	763
<b>9.3</b>	<b>Kostenmanagement .....</b>	<b>764</b>
9.3.1	Einleitung.....	764
9.3.2	Zielsetzung .....	764
9.3.3	Kostenmanagementprozess .....	765
9.3.3.1	Prozessüberblick .....	765
9.3.3.2	Einbettung in den Projektmanagementzyklus .....	766
9.3.4	Aufgabenfelder im Kostenmanagement .....	768
9.3.4.1	Kostenschätzung .....	768
9.3.4.2	Kostenbudgetierung (Kostenplanung).....	772
9.3.4.3	Kostenkontrolle .....	773
9.3.5	Close-out.....	776
9.3.6	Ausblick .....	777
9.3.6.1	Virtueller Wettbewerb .....	777
9.3.6.2	Electronic B2B .....	777
	Literatur .....	777
<b>9.4</b>	<b>Raumfahrtrecht .....</b>	<b>777</b>
9.4.1	Grundlagen des Raumfahrts.....	777
9.4.1.1	Internationales Raumfahrtrecht der Vereinten Nationen .....	778
9.4.1.2	Sonstiges internationales Raumfahrtrecht.....	781
9.4.2	Rechtliche Begleitung der Mission.....	782
9.4.2.1	Erforderliche staatliche Genehmigungen .....	782
9.4.2.2	Registrierung von Weltraumgegenständen .....	790
9.4.2.3	Vertragliche Gestaltung der Mission .....	791
9.4.2.4	Haftungsrisiken .....	797
9.4.3	Raumfahrt in der Zuständigkeit von ESA und EU .....	798
	Literatur .....	799
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>803</b>
	<b>Symbolverzeichnis .....</b>	<b>811</b>
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>815</b>